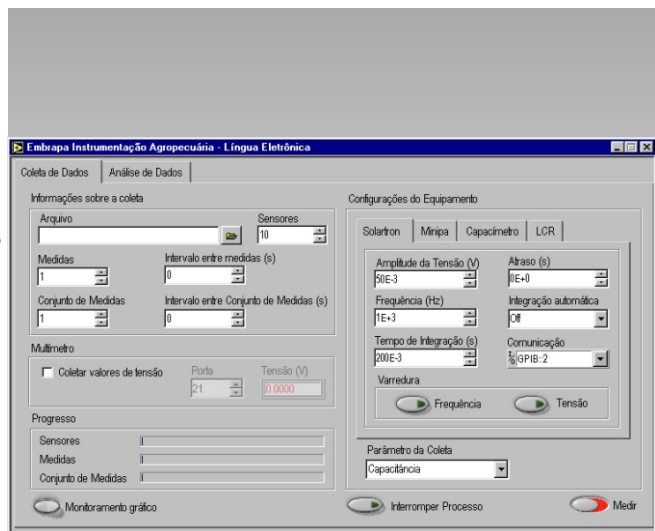


## Software para Automação de Língua Eletrônica em Análise de Líquidos

João de Mendonça Naime<sup>1</sup>  
Vivien Tammy Shinya<sup>2</sup>  
Luiz Francisco de Matteo Ferraz<sup>3</sup>  
Luiz Henrique Capparelli Mattoso<sup>4</sup>

Imagem: Vivien Tammy Shinya



Pressionada pela crescente competitividade no mercado globalizado, a indústria alimentícia necessita aperfeiçoar continuamente os seus produtos visando produtividade e qualidade. Neste contexto, é forte a demanda pelo desenvolvimento de sensores capazes de monitorar qualidade e sabor durante os processos de produção, de forma automática e confiável. A Embrapa Instrumentação Agropecuária desenvolveu sensores gustativos (Riul Jr. et al., 2003) capazes de distinguir diferentes marcas de café, vinho, água mineral, suco de fruta, chá, leite e outras bebidas. Através destes sensores, os sabores podem ser detectados com sensibilidade maior do que a do paladar humano. O potencial de aplicação desta tecnologia se estende a diversos setores assim como a estudos ambientais, como o da contaminação dos corpos d'água. Atualmente, destaca-se o grande interesse que os setores cafeeiro e vinícola têm demonstrado em utilizar a língua eletrônica tanto no processo de produção quanto durante o armazenamento. Testes preliminares demonstraram o enorme potencial desta técnica. Deseja-se que a análise destas bebidas seja feita automaticamente, durante o processamento com equipamentos dedicados às aplicações específicas e de custo acessível. Com estes objetivos, está em andamento na Embrapa Instrumentação Agropecuária o projeto: "Desenvolvimento de sensores poliméricos para aplicações na agroindústria e meio ambiente", financiado pela FAPESP (proc. 01.13745-1).

Na fase inicial do desenvolvimento deste sistema sensor, o processo de medida e diagnóstico da língua eletrônica era excessivamente trabalhoso e demorado além de restringir-se à mão de obra altamente especializada e à equipamentos de alto custo. O software que acompanha

os instrumentos de medida não são compatíveis com outros softwares de análise matemática dos resultados. Desde então, tornou-se necessário o desenvolvimento de um software que automatiza todos os processos e que seja de fácil utilização tanto para a realização das medidas como para a interpretação dos resultados. Este trabalho apresenta um programa de computador desenvolvido para viabilizar a utilização da língua eletrônica em campo, bem como para agilizar novos desenvolvimentos de sensores e metodologias. Uma das técnicas mais utilizadas para interpretação e tratamento dos resultados é a análise de componentes principais (PCA).

A língua eletrônica é composta por até 10 diferentes unidades sensoriais, que são constituídas de filmes de polímeros condutores (e.g. polipirrol e polianilina), depositados sobre microeletrodos interdigitados de ouro (Borato, 2002). A reatância capacitiva é a componente da impedância elétrica que apresenta maior correlação com as propriedades gustativas da bebida: azedo, amargo, doce, salgado e suas combinações. Uma tensão alternada, com amplitude e frequência constantes, é aplicada seqüencialmente sobre cada unidade sensorial a fim de se determinar a capacitância elétrica de cada sensor. Durante a análise, os sensores ficam submersos na amostra que se encontra sob temperatura constante em banho térmico. A interpretação dos resultados da língua eletrônica pode ser feita através de redes neurais, de modelos desenvolvidos para nariz eletrônico e da análise de componentes principais (PCA), sendo esta última a mais utilizada. A PCA permite reduzir a complexidade dos dados de 10 sensores (10 dimensões) para duas componentes principais (bidimensional).

<sup>1</sup> Pesquisador, Eng. Eletrônico, Dr., Embrapa Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos-SP

<sup>2</sup> Bacharelada em Informática, USP-ICMC, CEP 13560-970, São Carlos-SP

<sup>3</sup> Pesquisador, Eng. Eletrônico, Embrapa Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos-SP

<sup>4</sup> Pesquisador, Eng. Materiais, Dr., Embrapa Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos-SP

Um espectrômetro de impedância Solartron 1260 é utilizado para caracterizar os sensores e também para as medidas de capacitância. Na fase inicial do projeto, era utilizado o software (ZView), fornecido com o equipamento, para a aquisição das medidas de capacitância e gravação em arquivo. O arquivo de dados gerado pelo ZView não é compatível com o formato de leitura da função de análise PCA do Matlab. Desta forma, o usuário tem que editar a tabela de medidas, em cada um dos arquivos, para poder obter a PCA e seus gráficos. As repetições em cada análise e a quantidade de amostras multiplicam o grande trabalho exigido e a probabilidade de erros no diagnóstico final. Além disso, o usuário precisava trocar manualmente a conexão entre uma unidade sensorial e o instrumento. Partindo das demandas de uso tanto para caracterização dos sensores como para análises de rotina, com vistas à um protótipo para a agroindústria, foi desenvolvido um software que automatiza os processos de medida e de diagnóstico de acordo com as necessidades dos usuários. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um software amigável para o usuário leigo de forma a automatizar e agilizar o processo tanto na fase de medida como na obtenção dos gráficos PCA.

O sistema da língua eletrônica (Fig. 1) é composto por um computador, um circuito multiplexador, um medidor de capacitância elétrica a 4 fios (ponte Kelvin) e o conjunto de unidades sensoriais (até 10). A faixa de operação destes equipamentos está descrita na Tabela 1. O equipamento da HP permite utilizar 5 tensões e 5 frequências fixas.

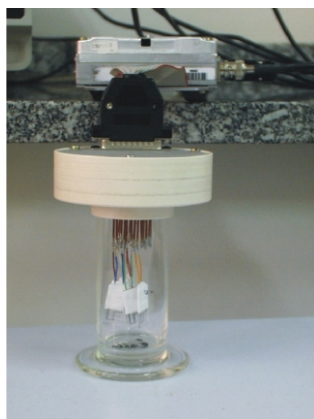


Figura 1 Sistema da língua eletrônica com o Solartron 1260 e detalhe do conjunto de unidades sensoriais.

Atualmente, a equipe do projeto está investindo no desenvolvimento de um capacímetro dedicado, de baixo custo. O multiplexador, baseado em circuitos integrados (MAX4555) específicos para ponte Kelvin, com quatro canais para cada unidade, tem a função de conectar uma unidade sensorial de cada vez ao medidor de impedância. O computador controla o multiplexador via interface paralela e se comunica com o equipamento de medida de capacitância via interface paralela padrão GPIB (General Purpose Interface Bus) ou através da interface serial padrão RS232, conforme a disponibilidade. O estágio final do protótipo terá na mesma caixa o capacímetro dedicado e o multiplexador, conectados ao computador através das interfaces específicas.

O software foi desenvolvido com o LABVIEW™, da National Instruments, um ambiente gráfico de desenvolvimento de programas aplicativos, baseado na linguagem G, concebido para facilitar o desenvolvimento de programas para interface homem-máquina com instrumentos, sensores e atuadores em controle de processos industriais e laboratoriais. A programação gráfica reduz o tempo de desenvolvimento em até 10 vezes, comparada com as linguagens convencionais.

O software desenvolvido permite controlar remotamente, de forma amigável, as funções de aquisição do capacímetro. É possível definir no programa a frequência e a amplitude da tensão que será aplicada às unidades sensoriais. Para iniciar uma medida, o operador precisa determinar: o diretório e o nome do arquivo de gravação das medidas, a grandeza (capacitância ou resistência) a ser medida, o instrumento de medida, o número de sensores que serão utilizados para aquela substância, o número de medidas, o número de conjunto de medidas a ser coletado e, finalmente, os intervalos de tempo entre medidas e entre conjuntos de medidas (Fig. 2). O software também permite ajustar o tempo de integração das medidas.

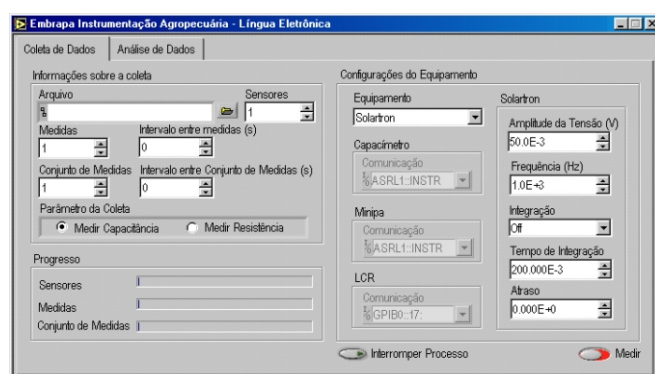


Figura 2 Tela do programa de coleta de dados.

Dessa forma, as medidas de capacitância ou resistência coletadas são gravadas em arquivo texto para processamento pela análise PCA. Durante a coleta, barras de progresso indicam o estágio atual do processo. Durante as medidas de capacitância é necessário o acompanhamento, através de um gráfico, dos valores medidos em cada um dos sensores, durante todo o processo, a fim de verificar se há defeitos em alguma unidade sensorial. Se existe problema no sensor, o deslocamento da leitura é bastante significativo, de várias

ordens de grandeza. A Fig. 3 mostra os dados de 4 medidas para os 10 sensores. O quadro superior mostrar o valor atual da capacitância.

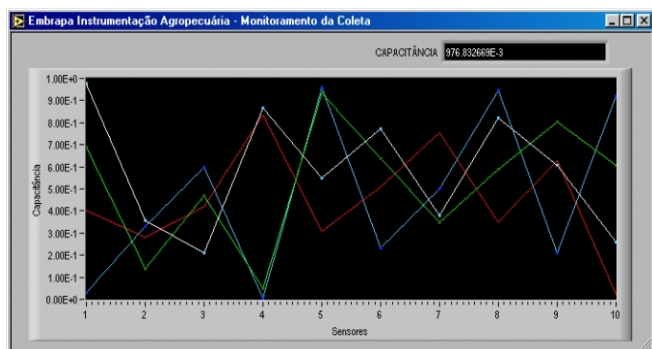


Figura 3 Detalhe das medidas de capacitância

O algoritmo de análise PCA foi implementado em C++ Builder 4.0, compilado para uma *dynamic link library* (dll). Desse modo, as funções da PCA podem ser chamadas pelo aplicativo principal no LabView e apresentar os gráficos com duas componentes principais. Portanto, o pacote final é um software instalável no sistema operacional Windows, independente da instalação do LabView, Matlab ou similares.

A Fig. 4 mostra o resultado da análise PCA obtida de 17 amostras, uma com água pura e 16 preparadas com os 4 paladares, cada um em 4 concentrações diferentes de quinino (amargo), HCl (azedo), sacarose (doce) e NaCl (salgado). Neste gráfico, o agrupamento por paladares mostra a excelente seletividade na diferenciação de paladares e a capacidade da língua eletrônica distinguir salgado e doce em água com concentração 1.000 vezes e 10.000 vezes, respectivamente, menor do que o homem é capaz de detectar (1mM).

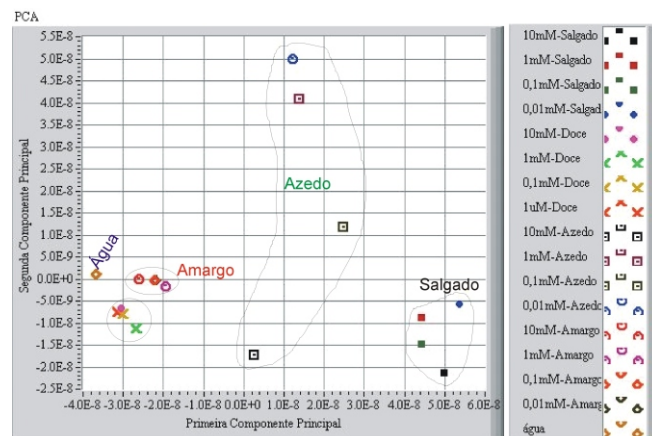


Figura 4 - Gráfico da análise PCA para os paladares salgado, doce, azedo e amargo em diferentes concentrações.

O programa desenvolvido neste trabalho além de agilizar os processos de medida e avaliação, aumentou significativamente a confiabilidade nos resultados, uma vez que evita processos "manuais" em ambas as fases.

#### Referências Bibliográficas

- BORATO, C.E. **Estudo de filmes poliméricos ultrafinos de polianilinas para aplicação em sensores**. São Carlos, 91p. Dissertação (Mestrado) - Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais do Campus de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.
- RIUL JR., A; SOTO, A.M.G.; MELLO, S.V.; BONE, S.; TAYLOR, D.M.; MATTOSO, L.H.C. An electronic tongue using polypyrrole and polyaniline. **Synthetic Metals**, Amsterdam, v.132, p.109-116, 2003.

#### Comunicado Técnico, 54

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Instrumentação Agropecuária**  
Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741  
CEP 13560-970 - São Carlos-SP  
Fone: 16 3374 2477  
Fax: 16 3372 5958  
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br  
www.cnpdia.embrapa.br

1a. edição

1a. impressão 2003: tiragem 300

#### Comitê de Publicações

**Presidente:** Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso  
**Secretária Executiva:** Janis Aparecida Baldovinotti  
**Membros:** Dr. Odílio Benedito Garrido de Assis,  
Dr. João de Mendonça Naime,  
Dr. Rubens Bernardes Filho,  
Dr. Washington Luiz de Barros Melo  
**Membro Suplente:** Débora Marcondes B. P. Milori

#### Expediente

**Supervisor editorial:** Dr. Odílio B. Garrido de Assis  
**Revisão de texto:** Janis Aparecida Baldovinotti  
**Tratamento das ilustrações:** Valentim Monzane  
**Editoração eletrônica:** Valentim Monzane